

**М. В. Рашковец\*, О. Э. Матц**

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

\**lipa\_04@mail.ru*

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук А. А. Никулина

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ПРЯМЫМ ЛАЗЕРНЫМ ВЫРАЩИВАНИЕМ НИКЕЛИЕВОГО СПЛАВА

В статье рассмотрены химический и фазовый состав исходного материала, а также структурные особенности образцов из сплава на основе никеля, выращенных на установке высокоскоростного прямого лазерного выращивания при различных параметрах. Материалом выращивания являлся порошок системы Ni–Cr–Mo, широко применяемый в авиационном строении.

*Ключевые слова:* высокоскоростное прямое лазерное выращивание, микроструктура, никелевые сплавы.

**M. V. Rashkovets, O. E. Matts**

## FEATURES OF STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF THE MATERIAL OBTAINED BY HIGH-SPEED DIRECT LASER CULTIVATION NIKEL ALLOY

The paper discusses the chemical and phase compositions, and structural features of the samples of Ni-based alloy, obtained on installation of direct laser method deposition at the different operating parameters. The initial deposition material was powder with Ni–Cr–Mo system, which has a wide application in aeronautics field.

*Keywords:* direct laser method deposition, structure, Ni-based alloys.

Интерес к технологии прямого лазерного выращивания значительно вырос за последние 10 лет. Процесс формирования детали относится к аддитивным технологиям по методу *direct deposition*, при использовании которого возможно формирование детали с градиентными свойствами [1]. Потери материала при производстве и последующей механической обработке минимальны. Сплавы на основе никеля системы Ni–Cr–Mo обладают высокой коррозионной стойкостью в широком диапазоне агрессивных сред, а также высокими прочностными свойствами и жаропрочностью, поэтому изделия, полученные по данной технологии, имеют широкое применение в авиационной, ракетной и судостроительной промышленности.

Целью данной работы является изучение особенностей структуры и фазового состава образцов, сформированных прямым лазерным выращиванием порошков на основе никеля, при различных параметрах рабочей установки. Высокоскоростное прямое лазерное выращивание осуществлялось на установке *Erlaser Weld* (кафедра «Сварка и лазерные технологии», Санкт-Петербургский государственный политехнический университет). В процессе осаждения изменялась мощность лазера в диапазоне от 250 до 1500 Вт, остальные параметры, такие как диаметр лазерного пятна, скорость сканирования, скорость подачи порошка, оставались неизменными (табл. 1).

Таблица 1

Параметры рабочей установки

Мощность лазера, Вт	Скорость сканирования, мм/с	Скорость подачи порошка, г/мин	Диаметр лазерного пятна, мм
250	1,2	45	1,2
500			
750			
1000			
1500			

Химический анализ исходного порошка был оценен на энергодисперсионном анализаторе *EDAX*. Исследование морфологии исходного порошка проводили на растровом электронном микроскопе *Carl Zeiss EVO 50 XVP*. Тонкую структуру исследовали с использованием метода просвечивающей электронной микроскопии на микроскопе *FEI Tecnai 20 TWIN*. Фазовый анализ исходного порошка и полученных материалов проводили на рентгеновском дифрактометре *ARL X'TRA*.

Исходный порошок имеет следующие весовые пропорции: 58,5 % Ni, 21,78 % Cr, 10,88 % Mo, 3,87 % Nb. Средний размер частиц порошка составляет 123 мкм. Рентгенофазовый анализ показал, что исходный материал представляет собой твердый раствор на основе никеля (рис. 1).

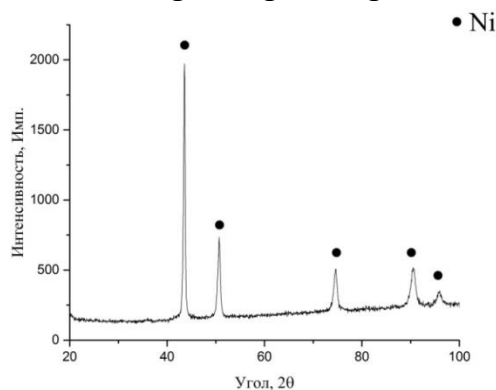


Рис. 1. Дифрактограмма исходного порошка

Структурные исследования материала выращенных образцов показали наличие дендритной структуры. В продольном сечении относительно лазерного излучения в пределах одного выращенного слоя (одного прохода) можно выделить две области: область столбчатых кристаллов в нижней части и дисперсную область в верхней части слоя (рис. 2).

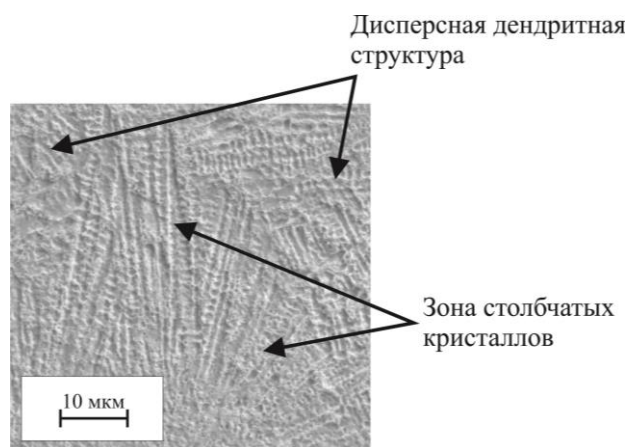


Рис. 2. Распределение зон выращенного слоя

Также в микроструктуре образцов были обнаружены не полностью расплавившиеся частицы исходного материала (рис. 3), расположенные относительно подложки в верхней части образца. Данные частицы являлись центрами кристаллизации при затвердевании окружающего их материала. Таким образом проходила объемная кристаллизация сплава, формирующая послойную структуру.

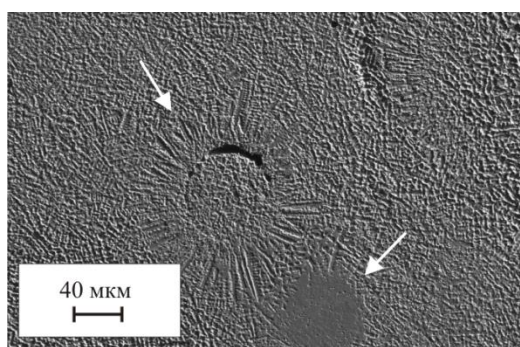


Рис. 3. Нерасплавившиеся частицы исходного материала

Увеличение мощности лазера ведет к росту стенки образцов. Аналогичный процесс наблюдается и по толщине отдельно выращенного слоя [2]. Такая зависимость зафиксирована для образцов, полученных в описанных в табл. 1 режимах выращивания. Однако согласно литературным источникам существует предельное значение мощности лазера, относительно которого рост стенки не зависит либо имеет обратно пропорциональную зависимость от мощности лазера [3].

При изучении образцов с использованием просвечивающей электронной микроскопии были выявлены частицы (рис. 4), химический анализ которых свидетельствует о том, что они являются сложными карбидами (табл. 2). Элементами, образующими карбид, согласно химическому анализу являются Nb, Ti, Mo и W. Химический анализ основы представлен в табл. 2.

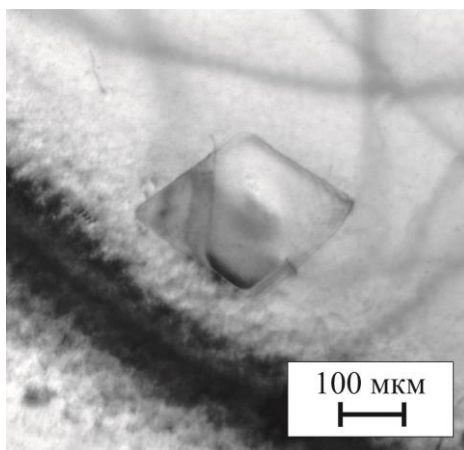


Рис. 4. Карбидная частица в материале, выращенном при мощности лазерного излучения 450 Вт

Таблица 2

Химический анализ частицы и основы

Область анализа	Химический элемент, вес. %								
	C	O	Ni	Ti	Cr	Co	W	Nb	Mo
Частица	25	1,4	1,2	17,8	1,5	0,7	18,9	21,9	8,8
Основа	3,1	1,9	55,6	2,7	10	14,4	5,7	1,2	5,3

В дальнейшем планируются подробные исследования полученных образцов с использованием просвечивающей электронной микроскопии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Costa L., Vilar R. Laser Powder Deposition // Rapid Prototyping J. 2009. Vol. 15 (4). P. 264–279.
2. Рашковец М. В., Никулина А. А., Климова О. Г. Особенности материала, полученного высокоскоростным прямым лазерным выращиванием сплава на основе никеля // Матер. докл. 3-й Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы машиностроения», (Новосибирск, 2016). Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. С. 384–388.
3. Zhang Qun-li, Yao Jian-hua, Mazumder Jyoti. Laser Direct Metal Deposition Technology and Microstructure and Composition Segregation of Inconel 718 Superalloy // Journal of iron and steel research, International. 2011. Vol. 18 (4). P. 73–78.